

**Univerzita Karlova v Praze**

**1. lékařská fakulta**

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Nutriční terapeut



**Kateřina Holá**

Vliv MCT na vytrvalostní výkon

The effect of MCT on endurance performance

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc.

Praha, 2018

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla a citovala všechny použité prameny a literaturu. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Praze, 30.4.2018

Kateřina Holá

Podpis:

**Identifikační záznam:**

HOLÁ, Kateřina. Vliv MCT na vytrvalostní výkon. [The effect of MCT on endurance performance]. Praha, 2018. 40 s., 1 obrázek. Bakalářská práce (Bc.). Univerzita Karlova v Praze, 1. lékařská fakulta, III. interní klinika 1. LF UK 2018. Vedoucí práce doc. MUDr. Zdeněk Vilikus, CSc.

## Abstrakt

MCT tuky jsou triglyceridy, jejichž délka řetězce se pohybuje mezi 6 až 12 atomy uhlíku. V trávicím traktu se MCT tuky mění na mastné kyseliny se středně dlouhým řetězcem, jsou rychle vstřebávány a portálním žilním systémem transportovány přímo do jater, proto se do tukové tkáně neukládají. Kromě toho mohou tyto mastné kyseliny procházet mitochondriální membránou jater a svalů nezávisle na karnitinovém přenašeči, čímž se stávají velmi snadno dostupným zdrojem energie. Vytrvalostní sportovci si během výkonu snaží udržovat maximální zásoby glykogenu, proto by právě užívání těchto suplementů jako rychlého zdroje energie mělo vést ke zlepšení vytrvalostního výkonu.

Cílem práce je poskytnout objektivnější pohled na převažující trendy a rozdílné závěry dílčích vědeckých studií a objasnit tak vliv MCT na sportovní vytrvalostní výkon.

Práce je koncipována jako meta-analýza založená na shromažďování dat z již dříve publikovaných odborných studií zabývajících se MCT tuky v souvislosti se sportovním vytrvalostním výkonem. Pro vyhledávání těchto studií byla použita medicínská elektronická databáze PubMed a multioborová databáze EBSCO a Google Scholar.

Meta-analýza neprokazuje jednoznačný vliv užívání MCT tuků na zlepšení vytrvalostního výkonu. Dvě provedené studie pozitivní vliv MCT tuků na vytrvalostní výkon prokázaly, avšak tyto výsledky nekorespondují s výsledky jiných studií. Převážná část výzkumů nezjistila pozitivní efekt podávání MCT tuků ve vytrvalostním sportu a vzhledem k množství studií, které již byly na toto téma provedeny, by se jako vhodnější jevílo zkoumat MCT tuky z pohledu pozitivního vlivu na zdraví.

**Klíčová slova:** Triglyceridy o střední délce řetězce, Sportovní výživa, Vytrvalostní výkon, Suplementy, Energie, Metabolismus tuků

## Abstract

MCT oils are triglycerides whose fatty acids have an aliphatic tail of 6–12 carbon atoms. Within the gastrointestinal tract, MCT are digested to their respective fatty acids (MCFAs) and rapidly absorbed and transported into the portal vein which then takes them straight to the liver, therefore MCTs are not stored in fat deposits in the body as much as LCTs. In addition, MCTs can pass through the mitochondrial membrane of the liver and muscle not depending on the carnitine transporter, what makes them a very readily available source of energy. Endurance athletes try to maximize their ability to maintain glycogen stores during exercise, so that using these supplements as a quick source of energy should lead to improved endurance performance.

The aim of the work is to provide a more objective view of the prevailing trends and different conclusions of particular scientific studies and to clarify the impact of MCT on sport endurance performance.

The work includes meta-analysis based on data collection method from previously published scientific studies following the use of MCTs in relation to sport endurance performance. Medical database PubMed and multidisciplinary databases EBSCO and Google Scholar were used to search for these studies.

The meta-analysis does not show any specific effect of MCTs utilization on improving endurance performance. Two studies have shown positive effects of MCT on endurance performance, but these results do not match the results of other studies. Most of the studies did not find any positive effect of using MCTs in endurance sports, and considering the number of trials already carried out on this topic, it would be more beneficial to examine the use of MCTs in terms of positive health effects.

**Key words:** Medium-chain triglycerides, Sports nutrition, Endurance performance, Supplements, Energy, Fat metabolism

## Obsah:

1. Úvod.....	8
2. MCT tuky – obecně.....	9
2.1 Charakteristika .....	9
2.2 Struktura a vlastnosti.....	9
2.3 Zdroje a výroba .....	9
2.4 Využití.....	10
3. Metabolismus MCT ve srovnání s LCT .....	11
3.1 Trávení a absorpce .....	11
3.2 Transport .....	11
3.3 Metabolismus mastných kyselin .....	12
3.3.1 $\beta$ -oxidace mastných kyselin .....	13
3.3.2 Energie získaná $\beta$ -oxidací .....	14
3.3.3 Ketogeneze .....	14
4. Vytrvalostní výkon.....	16
4.1 Fyziologické aspekty vytrvalostního výkonu.....	16
4.1.1 Adaptace na zátěž.....	16
4.1.2 Transportní systém .....	17
4.2 Energetické zdroje při zátěži.....	18
4.3 Oxidativní uvolňování energie .....	19
4.3.1 Využití glukózy .....	19
4.3.2 Využití triglyceridů .....	20
5. Využití MCT tuků ve vytrvalostním sportu .....	22
5.1 Vliv MCT tuků na vytrvalostní výkon ve světové literatuře .....	22
5.1.1 „Vliv suplementace CHO a tuků na CHO metabolismus během vytrvalostního výkonu“ .....	24
5.1.2 „Metabolická adaptace na dietu s vysokým obsahem tuku u vytrvalostních cyklistů“ ...	25
5.1.3 „Vliv triglyceridů o střední délce řetězce přijímaných se sacharidy na metabolismus a vytrvalostní výkon“ .....	26
5.1.4 „Vliv CHO nebo CHO v kombinaci s MCT na výkon cyklistů“ .....	27
5.1.5 „Příjem MCT před výkonem neovlivňuje využití svalového glykogenu během výkonu“ .....	27
5.1.6 „Malá množství plazmatických MCT a nezměněný výkon po konzumaci lipidů“ .....	28
5.1.7 „Účinky užívání triglyceridů o střední délce řetězce a sacharidů na ultra-vytrvalostní výkon“ .....	29

5.1.8 „Vliv MCT na středně intenzivní a vysoce intenzivní výkon u rekreačních sportovců “	30
5.1.9 „Medium-chain triglycerides jsou prospěšné pro podporu hubnutí, avšak nezvýhodňují výkon při zátěži “	30
6. Diskuse	32
7. Závěr	34
Seznam zkratek	35
Použitá literatura	36
Seznam obrázků	39

## 1. Úvod

MCT tuky se poprvé začaly používat v 50. letech minulého století, kdy byly představeny jako zvláštní druh mastných kyselin. Náhradou běžně přijímaných LCT tuků se MCT tuky začaly využívat jako zdroj energie v různých klinických výživových nastaveních, včetně pankreatické insuficience, poruch metabolismu lipoproteinů a malabsorpce lipidů.

Výsledky využívání MCT tuků v klinické výživě později vedly také k aplikaci těchto triglyceridů do výživy sportovců. Výzkumy související se sportem se soustředily především na vztah mezi živinami získanými ze stravy a zvýšením sportovního výkonu. Na základě studií, které se zabývaly účinkem sacharidů, byl vytvořen přímý vztah mezi obsahem svalového glykogenu a vynaloženou sportovní aktivitou. Začaly se tak zkoumat další strategie výživy se záměrem podpořit úspory glykogenu a zpomalit jeho vyčerpání. K tomu byla potřeba zvýšená dostupnost volných mastných kyselin, což vedlo k myšlence využití MCT tuků.

Oproti LCT tukům jsou MCT tuky díky svým kratším uhlíkatým řetězcům tráveny a absorbovány snadněji a rychleji se tak dostávají portálním řečištěm do jater. V játrech snadno podléhají oxidaci a podněcují vznik ketolátek. Některé vědecké studie ukázaly, že dieta s vysokým obsahem MCT zvyšuje oxidaci tuků a snižuje využití svalového glykogenu, což zlepšuje vytrvalostní kapacitu. Tyto závěry však další studie nepotvrzují a naopak se odklánějí od pravděpodobnosti, že MCT tuky vytrvalostní výkon zlepšují.

V této práci se zaměřuji právě na vědecké studie, které se tímto tématem zabývaly a zkoumaly účinky MCT tuků na sportovní vytrvalostní výkon. Posuzuji především skutečnosti, na základě kterých některé studie došly k závěru, že MCT hrají roli ve zlepšení vytrvalosti, a naopak proč další studie jejich funkci jako palivo pro sportovce vyvracejí.



## **2. MCT tuky – obecně**

### **2.1 Charakteristika**

MCT tuky jsou triglyceridy, jejichž struktura je tvořena středně dlouhými řetězci. Zkratka MCT pochází z anglického spojení: „medium-chain triglyceride“ a v překladu znamená „triglyceridy o střední délce řetězce“.

### **2.2 Struktura a vlastnosti**

Jedná se o triglyceridy, jejichž mastné kyseliny (MCFAs) obsahují 6 – 12 atomů uhlíku. Obsahují převážně kaprylové mastné kyseliny C8 (65 – 75 %) a kaprinové mastné kyseliny C10 (25 – 35 %). Méně často obsahují kyselinu kapronovou C6 (1 – 2 %) a kyselinu laurovou C12 (1 – 2 %) (Bach & Babayan, 1982).

MCFAs obsahující 6 – 12 atomů uhlíku jsou nasycené ve srovnání s mastnými kyselinami s dlouhými řetězci (LCFAs) obsahující 14 nebo více atomů uhlíku, které mohou mít jednu nebo více dvojných vazeb. Tyto strukturální rozdíly ovlivňují velikost molekuly a míru rozpustnosti ve vodě a vedou k diferenciaci mezi MCFAs a LCFAs ve všech úrovních jejich metabolismu (Bach & Babayan, 1982; Papamandjaris, MacDougall & Jones, 1998).

Teplota tání MCFAs je výrazně nižší než teplota tání LCFAs. Teplota tání kyseliny kaprylové je 16,7 °C a kyseliny kaprinové 31,3 °C. Teplota tání LCFAs, například mastných kyselin obsahujících 16 atomů uhlíku je 63,1 °C. MCFAs, ale i MCT, jsou tak obvykle při pokojové teplotě kapalné. MCFAs mají menší molekulovou hmotnost než LCFAs a jsou také slabými elektrolyty, proto jsou MCT tuky ve vodě lépe rozpustné (Bach & Babayan, 1982).

Díky kratším řetězcům mastných kyselin obsahují MCT tuky menší množství energie. Hrubý energetický obsah MCT tuků je 8,3 kcal/g, v porovnání s 9,2 kcal/g pro tuky LCT (Driedger, Ingle, Traul & Nakhasi, 1999; Marten et al., 2006).

### **2.3 Zdroje a výroba**

Přirozeně se MCT tuky vyskytují v kokosovém a palmojádrovém oleji (až 45 %) a v menším množství (od 2 % do 12 %) také v hovězím mléce, kde se množství MCT mění s genetikou, stádiem laktace a krmným režimem (Jensen, 2002). Tyto oleje obsahují převážně oktanové a dekanové kyseliny v poměru od 50:50 do 80:20. MCFAs obsažené v

MCT tuků jsou získávány hydrolýzou těchto olejů s následnou frakcionací mastných kyselin. MCFAs jsou esterifikovány glycerolem za přítomnosti katalyzátoru nebo bez katalyzátoru za vzniku triglyceridů o střední délce řetězce, tedy MCT tuků (Bach & Babayan, 1982; Marten, Pfeuffer & Schrezenmeir, 2006).

## 2.4 Využití

Jak bylo uvedeno, MCT tuky byly zavedeny do klinické výživy již v 50. letech minulého století. Začaly se využívat jako rychlý a vysoký zdroj energie, především při léčbě poruch absorpce lipidů. Pro oxidaci MCFAs není potřeba karnitin, jehož deficit nastává při sepsi, proto je podání MCT tuků výhodné i u kriticky nemocných pacientů. Rychlá lipolýza a následné uvolnění MCFAs však vedou k rychlému vzestupu koncentrace MCFAs v plazmě, což se může projevit toxicky. Vzhledem k riziku metabolické acidózy a zhoršení tolerance glukózy při podávání samotných MCT se dnes v oblasti parenterální výživy používají MCT tuky pouze v kombinaci s LCT nebo ve formě strukturovaných tuků, které umožňují přesné dodržení poměru MCT a LCT. MCT tuky se ze strukturovaných tuků uvolňují pomalu a zároveň je zachován dostatečný odsun LCT tuků (Babayan, 1987; Zádák, 2002).

MCT tuky se používají již řadu let také jako bezpečná složka potravin a to především v pečivu, sýrech, energetických doplňcích, cukrovinkách a glazurách. Někdy se používají jako zdroj energie v kojeneckých výživách a svou roli mají i v redukčních dietách (Papamandjaris et al., 1998; Driedger et al., 1999).

V posledních letech se MCT tuky dostaly mezi hojně využívané doplňky stravy sportovců. Kromě zvýšení výkonu se používají především v kulturistice pro podporu růstu svalové hmoty, lepší regeneraci a redukci hmotnosti. Ukázalo se, že náhrada LCT tuků za tuky MCT ve stravě ovlivňuje energetickou bilanci a může proto podpořit redukci hmotnosti. Díky jejich přímému transportu do jater a jejich využití pro energii se pouze 1-2 % MCT ukládá jako zásobní tuk (Papamandjaris et al., 1998; Driedger et al., 1999; Krčová, 2016). Protože MCFAs snadno podléhají oxidaci, je ketogenní efekt MCT tuků obvykle větší než u tuků LCT. Kosterní svaly mohou snadno přeměňovat ketolátky na energii, omezit oxidaci rozvětvených aminokyselin a snížit tak nadměrný katabolismus svalových proteinů (Babayan, 1987). MCT tuky se používají i injekčně ve směsi s analgetiky a alkoholem pro zvětšení velikosti nebo vytvarování svalu. Předpokládá se, že nárůst svalu je v určitém momentě omezen svalovou fascií. Po intramuskulární aplikaci oleje se svalová fascie roztáhne a olej se po několika měsících vstřebá. Tlak ve svalové fascii je tak snížen, což umožňuje další nárůst svalové tkáně (Banke, Prodinger, Waltdt, Weirich, Holzaphfel, Gradinger & Rechl, 2012).

### 3. Metabolismus MCT ve srovnání s LCT

#### 3.1 Trávení a absorpce

Minimální část tuků je štěpena již v ústech linguální lipázou a následně v žaludku působením gastrické lipázy. Většina triglyceridů je však štěpena až v duodenu za přítomnosti pankreatické lipázy. Pro účinek pankreatické lipázy je nezbytná kolipáza, která je nejprve jako prokolipáza aktivována působením trypsinu. Bylo zjištěno, že MCT tuky na rozdíl od LCT mohou být vstřebány i za snížené koncentrace pankreatických enzymů a žlučových solí. LCT tuky mají hydrofobní charakter a pro jejich trávení je nezbytná přítomnost žlučových kyselin, které vytvářejí komplex s kolipázou na povrchu kapének emulgovaných tuků a několikanásobně tak zvětšují jejich povrch pro působení pankreatické lipázy. Působením pankreatické lipázy se z triglyceridů odštěpují mastné kyseliny za vzniku 2-monoacylglycerolů a vytvářejí micely. V centru micel se nacházejí monoacylglyceroly, cholesterol a mastné kyseliny, na povrchu pak polární konce žlučových kyselin a fosfolipidů. Micely jsou v takovém uspořádání hydrofilní, proto jsou dobře rozpustné ve vodném prostředí střevního lumen (Holeček, 2006). Menší molekulová hmotnost MCT tuků oproti LCT usnadňuje působení pankreatické lipázy, a proto zvyšuje míru trávení MCT tuků, přičemž se hydrolyzují rychleji a úplněji (Papamandjaris et al., 1998). Produkty hydrolyzy MCT se do střevního lumen vstřebávají rychleji než produkty LCT a stejně rychle jako glukóza. Vzhledem k tomu, že jejich intraluminální hydrolyza je rychlá a poměrně úplná, jsou MCT tuky na rozdíl od LCT tuků absorbovány hlavně jako volné mastné kyseliny a jen zřídka jako 2-monoacylglyceroly (Bach & Babayan, 1982; Clegg, 2010).

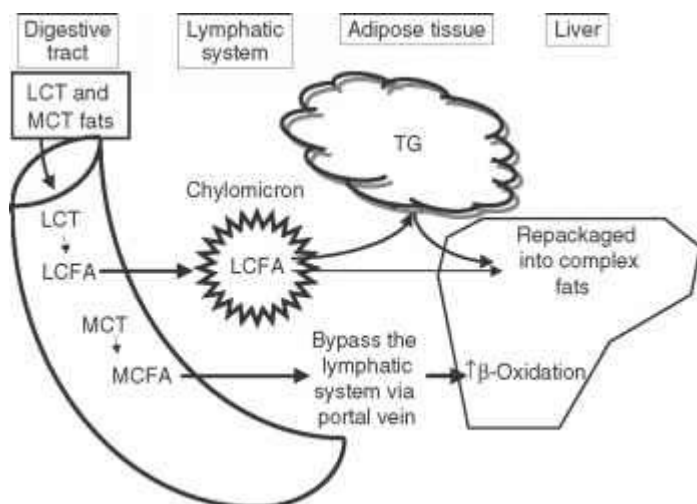
V enterocytech jsou MCT tuky hydrolyzovány střevní lipázou. LCFAs konvertují na acyl-CoA a jsou začleněny do triglyceridů, které jsou hlavní složkou chylomikronů. Protože jsou tyto enzymy specifické pro mastné kyseliny s více než 12 atomy uhlíku, MCFAs nejsou do těchto triglyceridů a následných chylomikronů významně začleněny, a proto rychleji opouštějí střevo a vstupují do krve (Bach & Babayan, 1982; Papamandjaris et al., 1998).

#### 3.2 Transport

Po absorpci se MCFAs sekretují přímo do portálního oběhu. MCFAs jsou transportovány v rozpustné formě mastných kyselin navázané na sérový albumin a vzhledem k tomu, že opouštějí střevní sliznici portálním žilním systémem, dosahují jater rychleji než delší molekuly. Ty jsou v podobě chylomikronů ze střevní sliznice uvolňovány do mezibuněčných prostorů, odkud jsou přenášeny lymfatickými cévami do krve. Pohybují

se přes extrahepatální tkáň, kde se z triglyceridů uvolňují mastné kyseliny, které podléhají  $\beta$ -oxidaci, nebo se použijí pro tvorbu zásobního tuku. Tímto způsobem je využito přibližně 80 % těchto triglyceridů, zbylá část je odvedena do jater, kde jsou katabolizovány (Bach & Babayan, 1982; Marten et al., 2006; Zadák, 2002; Holeček, 2006).

Obrázek 1 Absorpce a transport MCT ve srovnání s LCT (Newhouse, 2011)



### 3.3 Metabolismus mastných kyselin

Oxidace mastných kyselin je zahájena jejich aktivací ihned po vstupu do buňky. Aktivační reakce je dvoufázový děj probíhající jak uvnitř buňky na endoplazmatickém retikulu, tak na vnější membráně mitochondrie. Tato reakce je katalyzována acyl-CoA syntetázou, která je specifická pro určité délky řetězce mastných kyselin. Acyl-CoA syntetáza lokalizovaná v matrix mitochondrií je specifická pouze pro mastné kyseliny s maximálně 16 atomy uhlíku, tedy po kyselinu palmitovou. Delší mastné kyseliny jsou působením specifické acyl-CoA syntetázy degradovány obvykle na endoplazmatickém retikulu (Ledvina, Stoklasová & Cerman, 2009).

Na endoplazmatickém retikulu hepatocytů jsou LCFAs vázány na transportní proteiny a aktivovány na acyl-CoA působením dlouhého řetězce acyl-CoA syntetázy. Tyto acyl-CoA přednostně esterifikují  $\alpha$ -glycerolfosfát a cholesterol za vzniku triacylglycerolů, fosfolipidů a esterů cholesterolu. MCFAs na transportní proteiny navázány nejsou a téměř nikdy se neaktivují v extramitochondriálním prostoru, proto MCFAs nejsou významně začleněny do lipidů syntetizovaných jaterní tkání. MCFAs procházejí dvojitou mitochondriální membránou velmi rychle a na rozdíl od LCFAs nevyžadují přítomnost

specifického přenašeče v podobě karnitinu, který je součástí vnitřní membrány (Bach & Babayan, 1982; Ledvina et al., 2009).

LCFAs jsou v přítomnosti karnitin-palmitoyl transferázy převedeny na acylkarnitin, který pomocí transportního proteinu přechází přes vnitřní mitochondriální membránu do matrix mitochondrií. Uvolněný karnitin odchází opačným směrem a acylová skupina je přenesena na CoA z mitochondriální rezervy, čímž vzniká opět acyl-CoA. Mitochondriální acyl-CoA o libovolných délkách řetězce pak podléhá  $\beta$ -oxidaci s produkcí acetyl-CoA (Bach & Babayan, 1982; Holeček, 2006; Ledvina et al., 2009).

### 3.3.1 $\beta$ -oxidace mastných kyselin

Oxidace aktivovaných mastných kyselin je tvořena opakujícím se sledem čtyř reakcí, přičemž se každá z nich týká  $\beta$ -uhlíku (C3). Acyl je vázaný na koenzym A ve všech fázích  $\beta$ -oxidace. Uplatňují se zde tři různé acyl-CoA dehydrogenázy specifické pro krátké, střední a dlouhé řetězce, které pro redukci dvou vodíků používají svůj FAD, a dále  $\beta$ -hydroxyacyl-CoA dehydrogenáza obsahující  $\text{NAD}^+$ . Mezi těmito dehydrogenacemi probíhá hydratace působením enzymu enoyl-CoA hydratázy za vzniku OH skupiny. Následuje poslední reakce  $\beta$ -oxidace – thiolýza. Za přítomnosti thiolázy dochází k rozkladu oxoacylu. Do něj vstupuje HS-CoA, který odštěpí makroergickou sloučeninu v podobě acetyl-CoA. Z řetězce zbyde nasycený, o dva uhlíky kratší acyl. Tento acyl-CoA podléhá dalšímu cyklu reakcí  $\beta$ -oxidace (Ledvina et al., 2009).

Ve správně fungujícím organismu se do této fáze dostane poměrně málo LCFAs, neboť tyto mastné kyseliny bývají začleněny do lipidů syntetizovaných játry. MCFAs jsou však k dispozici a oxidují se rychle. Výsledkem je nadbytek acetyl-CoA, který pak sleduje různé metabolické dráhy jak v mitochondriích, jako je citrátový cyklus, ketogeneze a prodlužování mastných kyselin, tak v cytosolu, kde probíhá syntéza mastných kyselin a cholesterolu (Bach & Babayan, 1982).

Rychlost  $\beta$ -oxidace je ovlivněna dostupností substrátů, aktivitou enzymů a rychlostí přísunu kyslíku. Na  $\beta$ -oxidaci mají významný vliv také hormony.  $\beta$ -oxidace je inhibována inzulinem, který mastné kyseliny využívá pro syntézu triglyceridů. Naopak glukagon a adrenalin oxidaci mastných kyselin podněcují. Při hladovění, stresu a fyzické zátěži má oxidace mastných kyselin zásadní význam pro tvorbu ATP, přičemž koncentrace neesterifikovaných mastných kyselin je vysoká především díky adrenalinu (Holeček, 2006; Ledvina et al., 2009).

### 3.3.2 Energie získaná $\beta$ -oxidací

První dehydrogenace produkuje  $\text{FADH}_2$ , který v následujících návazných reakcích poskytuje 2 molekuly adenosintrifosfátu (ATP). Druhá dehydrogenace vytváří  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , který prostřednictvím dýchacího řetězce poskytuje 3 molekuly ATP. Na jeden cyklus  $\beta$ -oxidace připadá tedy zisk 5 molekul ATP. Výtěžek energie z citrátového cyklu činí asi 12 molekul ATP na jednu molekulu acetyl-CoA. Celková energie získaná z vyšší mastné kyseliny odpovídá asi 5 molekulám ATP násobených počtem cyklů  $\beta$ -oxidace a počtem vzniklých molekul acetyl-CoA vynásobených 12 molekulami ATP (Ledvina et al., 2009).

Zisk energie z  $\beta$ -oxidace je ve srovnání s anaerobní glykolýzou velmi vysoký. Výsledkem anaerobní glykolýzy jsou pouze 2 molekuly ATP na 1 molekulu glukózy. Význam mastných kyselin však není dominantní, protože přísun glukózy do těla je obvykle daleko větší a lze ji využít jak za aerobních, tak i anaerobních podmínek. Kromě toho jako meziprodukt anaerobní glykolýzy vzniká další zdroj využitelné energie ve formě laktátu (Ledvina et al., 2009; Máček & Radvanský, 2011).

### 3.3.3 Ketogeneze

Mezi látky produkované ketogenezí patří kyselina acetoctová, kyselina  $\beta$ -hydroxymáselná a aceton. Kyselina  $\beta$ -hydroxymáselná ve skutečnosti ketosloučeninou není, přesto se mezi ketolátky řadí, protože její vznik úzce souvisí s kyselinou acetoctovou. Za normálních podmínek se ketolátky produkují v malém množství a v krvi se vyskytují v koncentraci okolo 0,1 mmol/l. Při hladovění, kdy se glykogen vyčerpá, nebo u patologických stavů, jako je například nekompenzovaný diabetes, sahá tělo po oxidaci mastných kyselin. Ta probíhá v játrech za vzniku acetyl-CoA. Při nedostatku oxalacetátu, který je spotřebován pro proces glukoneogeneze, převyšuje nadbytek acetyl-CoA kapacitu citrátového cyklu a je nasměrován ke tvorbě ketolátek (Holeček, 2006, Ledvina et al., 2009).

Ketogeneze začíná sloučením dvou molekul acetyl-CoA na acetoacetyl-CoA. Tato molekula přibírá třetí molekulu acetyl-CoA a působením enzymu  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylglutaryl-CoA syntázy vzniká HMG-CoA ( $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylglutaryl-CoA). Následuje rozštěpení HMG-CoA na acetoacetát a acetyl-CoA. Většina acetoacetátu se redukuje na  $\beta$ -hydroxybutyrát nebo se dekarboxyluje na aceton. K tomuto ději dochází výhradně v játrech. Extrahepatálními tkáněmi je metabolizován  $\beta$ -hydroxybutyrát a je převeden na acetyl-CoA, který vstupuje do citrátového cyklu. Aceton dále metabolizován není a vylučuje se jako těkavá látka dýcháním. (Murray, Bender, Botham, Kennelly, Rodwell & Weil, 2002; Ledvina et al., 2009).

Protože se MCFAs snadno oxidují, ketogenní efekt MCT tuků je mnohem výraznější než u LCT tuků. Jak bylo uvedeno, MCFAs nepotřebují pro přechod přes mitochondriální membránu karnitinový přenašeč, proto jejich vstup do buňky není omezen. MCFAs podléhají oxidaci i za přísunu sacharidů a vzhledem k jejich rychlé oxidaci se dostupný oxalacetát brzy vyčerpá. To znamená rychlé přehlcení citrátového cyklu a zvýšená produkce ketolátek. Využití ketolátek je úměrné jejich plazmatické koncentraci do hodnot kolem 12 mmol/l. (Bach & Babayan, 1982; Murray et al., 2002; Holeček, 2006)

Ketolátky se transportují volně v plazmě a slouží jako důležité palivo pro některé periferní tkáně, především pro srdeční svalovinu a to i za fyziologických podmínek. Dále jsou ketolátky využívány kosterním svalstvem a o něco méně ledvinami. Pro mozek je primárním zdrojem energie glukóza, při dlouhém hladovění se však mozková tkáň dokáže adaptovat a využívat jako zdroj energie právě ketolátky, které v tomto případě dokážou pokrýt až 50 % jeho energetických nároků (Ledvina et al., 2009).

## **4. Vytrvalostní výkon**

### **4.1 Fyziologické aspekty vytrvalostního výkonu**

Vytrvalostní zátěž je pohybová aktivita ve formě cyklických pohybů, která probíhá nejméně 20-30 minut a na jejím ukončení se podílí celkové vyčerpání (Máček & Radvanský, 2011). První analýzy vytrvalostního výkonu proběhly již ve 20. letech minulého století a souvisely s poklesem výkonnosti v závislosti na svalové únavě. Studie zabývající se jak lidským, tak zvířecím atletickým výkonem vyvolaly klíčové otázky týkající se transportu kyslíku, svalové výkonnosti a metabolismu, kardiovaskulárního řízení a činnosti různých složek nervového systému (Joyner & Coyle, 2008).

Svalová činnost patří k základním životním projevům a je podstatou tělesné zátěže. Svaly, které vykazují činnost, vyžadují přísun energie. Pokud je touto činností zvyšována tělesná výkonnost, definujeme ji jako sportovní trénink. Účelem změn vyvolaných tréninkem je adaptace pohybového systému na pohybovou aktivitu tak, aby tato aktivita vyvolala minimální změny v homeostáze a vyčerpala co nejméně energetických zdrojů. Adaptace na tělesnou zátěž je velmi složitý fyziologický proces, zasahuje většinu významných systémů od zraku až po mitochondrie v jádrech svalových vláken a závisí na jejich vzájemné koordinaci (Máček & Radvanský, 2011).

#### **4.1.1 Adaptace na zátěž**

Vliv tréninku na kardiovaskulární systém má za následek snížení srdeční frekvence již po několika týdnech pravidelné pohybové aktivity vytrvalostního charakteru. Příčinou je zlepšení tonu kosterního svalstva díky pravidelné pohybové aktivitě, čímž se zlepšuje jeho funkce jako pomocné svalové pumpy oběhu. Tepový objem u trénovaných jedinců se zvyšuje o 30-50 % oproti netrénovaným, proto k minutovému srdečnímu výdeji stačí nižší srdeční frekvence. Součástí adaptace kardiovaskulárního systému je také vliv aerobního tréninku na zvýšení minutového výdeje. Při zátěži se zvyšuje dechový objem a zároveň se snižuje dechová frekvence. Vdechnuté množství vzduchu zůstává v plicích déle, což zvyšuje extrakci kyslíku z každého nádechu. Distribuce krve se zaměřuje především na pracující svaly, což napomáhá zvýšené extrakci kyslíku z protékající krve. Tento zisk z pravidelného aerobního tréninku je také významným adaptačním mechanismem na výkonnost (Máček & Radvanský, 2011).

Svalový a podpurný systém se adaptuje na základě zvýšené oxidativní kapacity s následkem zmnožení mitochondrií a pomalých svalových vláken. Trénované svaly pracují ekonomičtěji a mají lepší pohybovou koordinaci (Máček & Radvanský, 2011).



Na pravidelný trénink se adaptuje také centrální nervová soustava, v této oblasti se však adaptační faktory teprve objasňují. Nervová adaptace, podobně jako u svalového systému, je založena na zlepšení koordinace pohybů a zlepšení jejich ekonomiky. Například při tréninku pouze jedné končetiny je rostoucí síla i netrénované končetiny důkazem adaptace nervové soustavy (Máček & Radvanský, 2011).

#### **4.1.2 Transportní systém**

Velké a rychlé změny v transportním systému nastávají v počáteční fázi zátěže a trvají přibližně 30-45 sekund. Následuje fáze přechodová, během které dochází k adaptaci na metabolické požadavky pracujících svalů. Při mírné až středně intenzivní zátěži do 60 %  $\text{VO}_2 \text{ max}$  (maximální využití kyslíku) přechází tato fáze po několika minutách do rovnovážného stavu. Zátěž vysoké intenzity může skončit již v přechodové fázi vyčerpáním a k rovnovážnému stavu tak nedojde. Příjem kyslíku probíhá ve třech fázích, kdy první fáze odráží rychlou reakci oběhu na zátěž. Další fáze závisí na tom, při jaké intenzitě je zátěž vykonávána a v jaké míře je jedinec trénovaný. Podstatná je také věková diferenciacce. Poslední fáze spotřeby kyslíku je pomalejší a přechází do rovnovážného stavu (Máček & Radvanský, 2011).

Během vytrvalostní zátěže střední a vysoké intenzity v praxi dochází k plynulému vzestupu spotřeby kyslíku o přibližně 5 % za hodinu. Změna v poměru využívaných energetických substrátů může být příčinou vyšší spotřeby kyslíku. Dochází totiž k vzestupu využívání volných mastných kyselin a snížení využití sacharidů. Dlouhotrvající zátěž se projevuje určitými požadavky na transportní systém. Při zátěži musí být kryty jak nároky pracujícího svalstva, tak nároky na termoregulaci (Máček & Radvanský, 2011).

## 4.2 Energetické zdroje při zátěži

Změny probíhající v iniciální fázi zátěže lze označit jako nerovnovážný stav, kdy se výdej energie a příjem kyslíku na rozdíl od klidového stavu liší. Dle intenzity zátěže trvá tato fáze 2-3 minuty, poté přechází zpět do rovnovážného stavu. K okamžitému provedení svalové kontrakce je nezbytná dodávka energie, která se mění dle potřeb motorické jednotky. Je zajištěna rozpadem fosfokreatinu a glykogenu a glykogenolýzou v rychlých vláknech, zatímco oxidace sacharidů a tuků se více uplatňuje ve vláknech pomalých (Máček & Radvanský, 2011).

Štěpením ATP vzniká energie zajišťující funkci kontraktálních elementů svalových vláken. ATP se ztrátou jedné molekuly štěpí na difosfát a monofosfát a volný fosfát vytváří s kreatinem kreatinfosfát. Kreatinfosfát zajišťuje zdroj pro rychle se opakující resyntézu, která zajišťuje nepřetržitý přísun ATP. Zdrojem energie pro resyntézu ATP je při krátkodobém zatížení do 2 minut glykolytická fosforylace s velmi vysokou tvorbou laktátu. Naopak při dlouhodobějších vytrvalostních výkonech nebo při trvalé aktivitě některých svalových skupin se uplatňuje oxidativní fosforylace (Máček & Radvanský, 2011).

Aerobní způsob uvolňování energie má pomalejší vzestup a v počáteční fázi zátěže vzniká energetická přeměna postupně, díky vzájemně se doplňujícím jednotlivým způsobům uvolňování energie. Na začátku zátěže se bezprostředně uplatňují makroergní fosfáty s krátkou dobou působení, ale s jejich zmíněnou rychlou resyntézou. Navazující glykolýza se současnou produkcí laktátu výrazně snižuje zásoby glykogenu již od 2. minuty zátěže. Laktát se buď spaluje v místě, kde vzniká, nebo je transportován do míst s potřebou rychlé dodávky energie (Máček & Radvanský, 2011).

Jaký energetický zdroj bude organismus při zátěži využívat závisí na druhu vykonávané činnosti, její intenzitě a úrovni adaptace organismu na zátěž. Z tukových zásob se hradí klidová spotřeba a zátěž nízké intenzity do 25 %  $\text{VO}_2 \text{ max}$ , zvyšováním intenzity se zvyšuje podíl glukózy a při vysoce intenzivní aktivitě přesahující 65-75 %  $\text{VO}_2 \text{ max}$  spotřeba energie z tukových zásob klesá pod 50 %. Rozdíly v metabolické odpovědi na zátěž vyvolává zmíněná úroveň adaptace. Relativní zátěž u adaptovaných jedinců při dvacetiminutové zátěži střední intenzity dosahuje jen asi 40 %  $\text{VO}_2 \text{ max}$ , zatímco u netrénovaných jedinců při stejné zátěži dosahuje 70-80 %  $\text{VO}_2 \text{ max}$ . Zvýšená koncentrace laktátu u netréované skupiny je důsledkem nižšího přísunu kyslíku. Dochází ke snížení hydrolýzy triglyceridů a tím ke snížení využití tuků (Máček & Radvanský, 2011).

### 4.3 Oxidativní uvolňování energie

Energetickým zdrojem při oxidativním uvolňování energie jsou volné mastné kyseliny uvolněné z triglyceridů nebo krevní glukóza uvolněná z jaterních zásob glykogenu. Při vytrvalostní zátěži nižší a střední intenzity jsou v iniciální fázi hlavním zdrojem sacharidy, postupně však nabývají významu i tuky. K oxidaci mastných kyselin jako hlavního zdroje energie dochází v klidových podmínkách a během zátěže s nízkou intenzitou. Oba tyto energetické zdroje jsou dostatečně k dispozici a jejich využívání se dle okamžité situace vzájemně doplňuje. Uvolňování a štěpení tuků trvá o něco déle, než využití svalového glykogenu. Tuky však poskytují více energie, protože jsou zdrojem 9,2 kcal/g oproti 4,1 kcal/g pro sacharidy. To způsobuje nižší relativní hmotnost substrátů při skladování. Glukóza uložená ve formě glykogenu váže přibližně 2 g vody na 1 g glykogenu. Změny obsahu svalového glykogenu tudíž představují významné objemové změny, proto je kapacita pro skladování glykogenu ve svalech a játrech omezena. U zdravého netrénovaného muže zásoby glykogenu činí asi 450 g, z toho dvě třetiny připadají svalovému glykogenu a zbylá třetina glykogenu je uložena v játrech. Naopak zásoby tuků se u zdravého netrénovaného jedince pohybují kolem 10 kg (Brouns & van der Vusse, 1998; Máček & Radvanský, 2011).

#### 4.3.1 Využití glukózy

Glykolýza je hlavní cestou katabolismu glukózy a probíhá v těle téměř všech organismů. Odehrává se ve všech buňkách lidského těla a enzymy této reakce jsou lokalizovány v cytosolu. Glykolýza je metabolická dráha přeměny glukózy na pyruvát a probíhá stejnou cestou za podmínek aerobních i anaerobních. Laktát v glykolýze však vzniká pouze za anaerobních podmínek (Ledvina et al., 2009).

Při zátěži se nejdříve spaluje svalový glykogen, jehož zásoby se snižují po 30-40 minutách u trénovaných jedinců, u netrénovaných dříve. Pomalá svalová vlákna tak za účelem ušetření zbylého svalového glykogenu začnou čerpat krevní glukózu a dochází k přechodu z čerpání vlastních zásob na zdroje dodávané krevní cestou. V játrech probíhá intenzivní glukoneogeneze z glycerolu, volných mastných kyselin, laktátu, proteinů a především z aminokyselin alaninu a lyzinu, čímž se zvyšuje vyplavování glukózy z jater. Na začátku zátěže v důsledku deficitu kyslíku vzniká laktát, jehož koncentrace následně v prvních 10-15 minutách klesá. Dříve byl laktát považován za pouhý odpadní produkt glykolýzy, který způsobuje nanejvýš únavu. Novější studie prokazují jeho funkci jako zdroje další energie a její distribuce do míst, kde je koncentrace laktátu nižší. Laktát je schopný pronikat rychle stěnami buněk a přímo v mitochondriích se aerobně spaluje, stává

se preferovaným zdrojem energie a šetří glukózu. Poměr využití energetických zdrojů mezi laktátem a glukózou však nebyl objasněn (Máček & Radvanský, 2011).

Výzkumy v oblasti výkonu s maximální intenzitou přinášejí důležité informace hlavně pro praxi vytrvalostních sportů. K faktorům ovlivňujícím maximální zátěž patří například rychlost svalové kontrakce, koordinace a schopnost využití všech metabolických složek během podávání maximálního výkonu. Při vysoce intenzivní zátěži je ve svalech oxidováno více sacharidů, oxidativními enzymy je zpracováno více pyruvátu a je spotřebováváno větší množství energie ze zásob glykogenu. Při nižších intenzitách se tyto glykogenové zásoby šetří a přednostně se využívají tuky za snížení glykogenolýzy a glukoneogeneze. Únava během intenzivního vytrvalostního cvičení s vysokou intenzitou je spojena s vyčerpáním svalového glykogenu, může být však oddálena zvýšením těchto zásob před výkonem. (Goedecke, Christie, Wilson, Dennis, Noakes, Hopkins & Lambert, 1999; Máček & Radvanský, 2011).

#### **4.3.2 Využití triglyceridů**

Endogenní triglyceridy představují největší zdroj energie v těle. Celkové množství energie uložené v podobě triglyceridů je asi 60krát větší, než množství energie uložené jako glykogen. Oxidace mastných kyselin během vytrvalostního cvičení umožňuje trvalou fyzickou aktivitu a zpomaluje úbytek glykogenu. Využití mastných kyselin jako zdroje energie během cvičení vyžaduje hydrolýzu triglyceridů z tukové tkáně, svalů a plazmy a transport mastných kyselin do mitochondrií. Hydrolýza triglyceridů z tukové tkáně a pravděpodobně intramuskulárních triglyceridů je zvýšena katecholaminovou odpovědí na cvičení (Horowitz & Klein, 2000).

Lipolýza tukové tkáně je regulována rovnováhou mezi hormony. Primárně katecholaminy jsou hormony, které lipolýzu stimulují. Naopak hydrolýza triglyceridů na mastné kyseliny a glycerol je podmíněna lipázou, jejíž aktivita je inhibována inzulinem. Množství mastných kyselin uvolňovaných lipolýzou v klidu převyšuje jejich oxidaci. Velká část triglyceridů uvolněných lipolýzou se proto především v játrech reesterifikuje zpět na triglyceridy. Mírným až středně intenzivním cvičením se zvyšuje oxidace mastných kyselin až desetinásobně a většina zprostředkovaných mastných kyselin k oxidaci je zajištěna právě lipolýzou z tukové tkáně. Ta je při fyzické aktivitě díky adrenergní stimulaci až třikrát zvýšena. Změny průtoku krve usnadňují distribuci mastných kyselin z tukové tkáně do pracujících svalů. Mírně intenzivní cvičení průtok krve v tukové tkáni zdvojnásobuje a způsobuje desetinásobné zvýšení průtoku krve v kosterním svalstvu (Horowitz & Klein, 2000). Poměr mastných kyselin uvolněných z podkožní tukové tkáně k albuminu se zvyšuje z klidového poměru 2:1 na 6:1 na konci cvičení (Hodgetts, Coppack, Frayn & Hockaday, 1991). Prodloužená doba absorpce a doba oxidace LCT tuků z nich

činí špatný zdroj rychle dostupné energie během vysoce intenzivního vytrvalostního cvičení při  $> 75 \% \text{VO}_2 \text{ max}$ , kdy se oxidace tuků snižuje, než je tomu u mírně intenzivního cvičení (Clegg, 2010).

Během prvních 120 minut cvičení je rychlost lipolýzy dvojnásobná než rychlost oxidace mastných kyselin, zatímco úbytek plazmatických mastných kyselin je v tomto období podobný rychlosti jejich oxidace. Několik studií však uvedlo, že během prvních 1-2 hodin cvičení je úbytek mastných kyselin z plazmy nižší než oxidace těchto mastných kyselin. Tato skutečnost naznačuje, že kromě plazmatických mastných kyselin získaných z tukové tkáně se oxiduje další zdroj tuku, s největší pravděpodobností plazmatické a intramuskulární triglyceridy (Horowitz & Klein, 2000).

Jen málo studií naznačuje, že plazmatické mastné kyseliny představují značnou část celkového tuku použitého při vytrvalostním cvičení. Provedením svalové biopsie před a po cvičení v několika studiích se zjistilo, že koncentrace plazmatických a intramuskulárních triglyceridů klesá o 25-40 % po 1-2 hodinách cvičení s průměrnou intenzitou, což je přibližně 60-75 % celkového množství oxidovaného tuku. Jiné studie však zjistily, že koncentrace těchto triglyceridů po delším tréninku klesá minimálně nebo vůbec. Nesrovnalosti mezi těmito studiemi nejsou zcela jasné, ale pravděpodobně souvisí se způsobem měření koncentrace triglyceridů při svalové biopsii a intervalem mezi cvičením a provedenou biopsií (Horowitz & Klein, 2000).

Většina zdrojů uvádí, že využití nitrosvalových triglyceridů se zvyšuje u trénovaných jedinců. Právě průtok krve trénovaným svaem zvyšuje úroveň adaptační lipolýzy a aktivity enzymů metabolizujících tuky (Máček & Radvanský, 2011). Studie porovnávající využití energetických substrátů u trénovaných a netrénovaných jedinců ukázala, že trénovaní jedinci během intenzivního cvičení používají jako zdroj energie větší množství tuku, než jedinci netrénovaní a oxidace mastných kyselin z jiných zdrojů než z tukové tkáně je u trénovaných jedinců větší (Coggan, Raguso, Gastaldelli, Sidossis & Yeckel, 2000).

## 5. Využití MCT tuků ve vytrvalostním sportu

Průběh výzkumu v oblasti sportu vedl výzkumníky již v 80. letech k využití MCT tuků pro ergogenní účely. Tento účinek MCT tuků byl založen na vztahu mezi rychlostí oxidace sacharidů a oxidace tuků. Poměrně nízké zdroje sacharidů uložených v těle způsobují snížení schopnosti udržet vysoký výkon při dlouhotrvající vytrvalostní zátěži. Sportovci proto za účelem zlepšení vytrvalostní kapacity hledají způsoby, které by ve větší míře vedly k využívání tuků jako paliva během cvičení. Za předpokladu, že zvýšená oxidace tuků zpomalí odbourávání glykogenu a tím oddálí jeho vyčerpání, by se mohla zlepšit vytrvalost během zátěže (Brouns & Vusse, 1998; Gomes & Aoki, 2003).

### 5.1 Vliv MCT tuků na vytrvalostní výkon ve světové literatuře

Výzkumy zabývající se účinky MCT tuků na vytrvalostní výkon byly provedeny na základě předpokladů, které se týkaly šetření svalového glykogenu na úkor tuků. Dřívější studie ukázaly, že podávání sacharidů (CHO) lépe udržuje plazmatickou koncentraci glukózy a zvyšuje rychlost její oxidace, což vede ke zlepšení vytrvalostní kapacity. Výzkumy zohledňovaly strategii podávání CHO během zátěže, u kterých bylo prokázáno, že udržují míru CHO oxidace, zabraňují hypoglykemii a výrazně zvyšují výkonnost při cvičení. Řízení příjmu CHO však nezlepšuje výkonnost za všech okolností. Maximální rychlost oxidace glukózy nepřesahuje 1,1 g/min ani při podávání jejího většího množství. Pro dodání dalšího exogenního zdroje energie by tak mohly být využity další substráty a předpokládalo se, že by účel těchto dalších exogenních zdrojů mohlo naplnit podávání MCT tuků. Zvýšení hladiny volných mastných kyselin v plazmě by tak mohlo vést k ušetření glykogenu a zlepšení submaximálního vytrvalostního výkonu. Nicméně zvýšená suplementace a následná oxidace volných mastných kyselin a ketolátek vede k inhibici využití plazmatické glukózy, to znamená, že podávání MCT může inhibovat využití též exogenně podávaných CHO. Tato tvrzení byla hlavním podnětem pro studie zabývající se účinky MCT tuků podávaných v kombinaci s CHO a zkoumající endogenní využití CHO a rozložení svalového glykogenu během vytrvalostně výkonnostní zátěže. Bolusové dávky MCT tuků nad 30 g způsobují gastrointestinální potíže. Některé studie tak pozorovaly míru gastrointestinálních potíží při podávání MCT tuků v kombinaci s CHO (Jeukendrup, Saris, Brouns, Halliday & Wagenmakers, 1996; Goedecke et al., 1999; Angus, Hargreaves, Dancey & Febbraio, 2000).

Dalším podnětem pro studie zkoumající účinky MCT na vytrvalostní výkon byly předpoklady, že dlouhodobá dieta s vysokým obsahem tuků (HFD) zvyšuje oxidaci tuků a tím pádem šetří využívání svalového glykogenu. Některé dřívější studie provedené na zvířatech zjistily, že HFD po dobu 1-12 týdnů zvyšuje aktivitu karnitin acyl-transferázy a

3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenázy týkajících se citrátsyntázy v kosterních svalech. Kromě toho HFD zvyšuje inzulinovou rezistenci, která by mohla vést k potlačení metabolismu CHO a zvýšit tak oxidaci tuků (Goedecke et al., 1999).

Nízká plazmatická koncentrace mastných kyselin vede ke snížení oxidace tuků a zvýšení oxidace svalového glykogenu. Některé studie podávající intravenózně LCT v kombinaci s heparinem prokázaly zvýšení oxidace tuků a šetření svalového glykogenu. Za účelem zvýšení plazmatických koncentrací volných mastných kyselin není však intravenózní podávání substrátu pro sportovce praktické jako orální příjem (Vukovich, Costill, Hickey, Trappe & Fink, 1993).

Běžné tuky obsažené v potravě se skládají především z LCT tuků, které se absorbují pomalu a omezeně tak přispívají k oxidaci tuků během zátěže. Například při příjmu 44 g tuků obsahujících převážně LCT před zátěží při 60 %  $\text{VO}_2$  max se oxiduje pouze asi 9 % těchto tuků. Při příjmu MCT tuků bylo naopak zjištěno, že z požitých MCT během 180 minutové zátěže podlehl oxidaci 70 % z nich. Tato zjištění se stala dalšími podněty pro provedení studií zabývajících se vlivem MCT na snížení svalové glykogenolýzy a dále zkoumání, zda podávání MCT tuků v kombinaci s CHO dokáže zvýšit dostupnost plazmatické glukózy před a během vytrvalostní zátěže (Satabin, Portero, Defer, Bricout & Guezennec, 1987; Jeukendrup et al., 1996; Horowitz, Mora-Rodriguez, Byerley & Coyle, 2000)

Zmíněné vedlejší účinky požívání MCT tuků, které se projevovaly gastrointestinálními obtížemi a mohly tak snižovat výkon během zátěže, přivedly výzkumníky k použití strukturovaných tuků. MCFAs a LCFAs mohou být esterifikovány na stejném glycerolovém skeletu za vzniku strukturovaných triglyceridů (MLM). Jejich použití v parenterální výživě v množství až 100 g/den se ukázalo jako výhodné ve srovnání s podáváním samotných LCT nebo MCT tuků. Zatímco MCT tuky jsou rychlým zdrojem energie, LCT tuky zajišťují přísun esenciálních mastných kyselin. Použitím tohoto strukturovaného tuku se zabránilo gastrointestinálním potížím pozorovaných při příjmu samotných MCT tuků. U zdravých jedinců se při konzumaci 70 g MLM neprojevil žádné nežádoucí účinky. Díky tomu bylo možné provádět studie zkoumající vliv MCT v kombinaci s CHO na vytrvalostní výkon bez projevů gastrointestinálních symptomů (Vistisen, Nybo, Xu, Høy & Kiens, 2003).

Některé další studie se zabývaly přínosem MCT tuků pro delší trvání výkonu, v němž mohou být zásoby glykogenu omezující. Sem patří ultra-vytrvalostní výkony, při kterých sportovci vykonávají mírně intenzivní zátěž po dobu delší než 240 minut s vysoce intenzivními kratšími úseky, přičemž se sportovci spoléhají na svalový glykogen jako energetický zdroj. Zjišťovalo se, zda by MCT tuky mohly sloužit jako alternativní zdroj energie ve stavu deplece glykogenu při ultra-vytrvalostním výkonu (Goedecke et al., 2005). Většina studií se zabývala účinky MCT tuků na výkon vytrvalostně trénovaných a elitních sportovců, vliv MCT tuků na výkon byl však také zkoumán u rekreačních

sportovců a sloužil k posouzení vnímání námahy během výkonu (Nosaka, Suzuki, Nagatoishi, Kasai, Wu & Taguchi, 2009).

Většina provedených studií žádný rozdíl ve využití energetických substrátů nezjistila, to znamená, že podání MCT tuků nemělo vliv na zvýšení výkonnosti. Studie, které se účinkem MCT tuků zabývaly a jejich ergogenní vliv prokázaly, používaly například vysoké dávky MCT, nebo je podávaly intravenózně. (Gomes & Aoki, 2003; Clegg, 2010)

### **5.1.1 „Vliv suplementace CHO a tuků na CHO metabolismus během vytrvalostního výkonu“**

Cílem této studie bylo prozkoumat využití CHO u jedinců, kteří dostávali orálně CHO nebo CHO v kombinaci s MCT během výkonu při maximální aerobní pracovní výkonnosti 50% (W max) do 57 % VO<sub>2</sub> max po dobu 180 minut. Na zúčastněných devíti triatlonistech nebo cyklistech mužského pohlaví byly provedeny 4 dvojité zaslepené studie v minimálně týdenních intervalech. Protokol této studie obsahoval odebrání vzorku krve a provedení svalové biopsie 30 minut před zátěží. Během zátěže byly odebírány vzorky krve každých 30 minut. Druhá svalová biopsie byla provedena bezprostředně po zátěži (Jeukendrup et al., 1996).

Účastníci dostali dávky CHO o objemu 4 ml/kg hmotnosti na začátku zátěže a 2 ml/kg každých 20 minut během výkonu. Jednalo se buď o 150 ml/kg CHO, stejně energetické 70% CHO a 30% MCT suspenze obsahující 149 g CHO a 29 g MCT. Pro studium možného vlivu MCT přidaného do CHO místo stejně energetické emulze CHO + MCT bylo ve třetím testu podáno subjektům stejné množství HCHO – 214 g a stejné množství MCT – 29 g. Tím pádem mohlo být posouzeno, zda jsou rozdíly mezi testem s podáváním CHO + MCT a podáváním CHO způsobeny MCT, nebo rozdílnou hodnotou CHO. Ve čtvrtém testu bylo měřeno pouze <sup>13</sup>C pozadí podávaných glukózových polymerů (Jeukendrup et al., 1996).

Hladiny svalového glykogenu se v testování CHO, CHO + MCT a HCHO + MCT významně snížily, jejich rozložení mezi studiemi se však výrazně nelišilo. Hladiny volných mastných kyselin v plazmě byly během 30 minut zátěže sníženy a během poslední 30 minut naopak významně zvýšeny (Jeukendrup et al., 1996).

Nebyly pozorovány rozdíly v hladinách volných mastných kyselin v plazmě mezi jednotlivými testy. Dřívější studie uváděly glykogen šetřící účinek při vysoké dostupnosti volných mastných kyselin, proto bylo navrženo, že požití MCT zvýší dostupnost těchto volných mastných kyselin. V této studii bylo však zjištěno, že při příjmu maximálního přípustného množství MCT nejsou hladiny volných mastných kyselin v plazmě ovlivněny (Jeukendrup et al., 1996).



Dále bylo v prvních 30 minutách zpozorováno také zvýšení hladin glycerolu, rovněž však nebyly zaznamenány rozdíly v hodnotách mezi všemi testy. Plazmatická koncentrace  $\beta$ -hydroxybutyrátu se zvýšila v prvních 30 minutách v testech s CHO + MCT a HCHO + MCT, dále se koncentrace nevychylovaly. To naznačuje tomu, že část MCT metabolizovaných v játrech vede k produkci ketolátek, zatímco glycerol z hydrolýzy MCT se používá pro glukoneogenezi. V testu CHO nebyly žádné změny koncentrace  $\beta$ -hydroxybutyrátu zaznamenány (Jeukendrup et al., 1996).

Zatímco koncentrace laktátu měla tendenci k poklesu, nebyly pozorovány žádné změny v koncentracích glukózy a laktátu mezi jednotlivými pokusy (Jeukendrup et al., 1996).

Ve všech testech byly hlášeny gastrointestinální potíže a jejich závažnost a výskyt se mezi jednotlivými testy nelišily. Nejčastěji se jednalo o střevní křeče a nevolnosti. To může být přičítáno požívaným glukózovým polymerům s dlouhým řetězcem spolu s MCT (Jeukendrup et al., 1996).

### **5.1.2 „Metabolická adaptace na dietu s vysokým obsahem tuku u vytrvalostních cyklistů“**

Této studii se zúčastnilo 16 vytrvalostně trénovaných cyklistů, kteří byli náhodně rozděleni na skupinu přijímající dietu s vysokým obsahem tuku (HFD) a kontrolní skupinu. Cílem studie bylo zhodnotit průběh metabolické adaptace na 15 dní trvající HFD. Kontrolní skupina konzumovala svoji obvyklou stravu obsahující průměrně 30% tuku z celkového příjmu. Skupina HFD konzumovala stravu obsahující do 70% tuku z celkového příjmu (Goedecke et al., 1999).

Cyklisté v 5 denních intervalech podstoupili orální test glukózové tolerance (OGTT), následující testovací dny prováděli jízdu s konstantním zatížením trvající 150 minut při 63 %  $W_{max}$  a 70 %  $VO_{2max}$  a následnou 40kilometrovou časovou zkouškou. Subjektům byla podávána emulze 4,3% MCT, sestávající z 80% MCT a 20% LCT. Podávaný 400ml roztok tedy obsahoval 3,4 % MCT a 10% glukózy. MCT tuky byly subjektům podávány pro poskytnutí snadno oxidovatelného tuku. Vzorky krve byly odebírány v 30 minutových intervalech. Svalová biopsie byla provedena ve dnech 0, 10 a 15 pro stanovení aktivity karnitin acyl-transferázy a 3-hydroxyacyl-CoA dehydrogenázy (Goedecke et al., 1999).

HFD nezpůsobila významné rozdíly v hladinách koncentrace plazmatické glukózy a koncentrace inzulínu během OGTT. Koncentrace glukózy měřené v 30. minutě OGTT byly však významně zvýšeny po 5 dnech a v 10. a 15. den u HFD zůstaly zvýšeny. U kontrolní skupiny byly hodnoty plazmatické glukózy srovnatelné ve dnech 0 i 15. Plazmatické hodnoty glukózy měřené ve 120. minutě OGTT byly významně zvýšeny po 5

dnech HFD. Mezi oběma skupinami nebyly pozorovány změny koncentrace inzulinu v plazmě. HFD neměla vliv na plazmatickou koncentraci glukózy, laktátu ani inzulinu během 150 minutové zátěže. (Goedecke et al., 1999).

Snížení plazmatických koncentrací volných mastných kyselin po 15 dnech HFD nebylo významné. Výsledky této studie naznačují, že HFD snížila glukózovou toleranci. Ta byla prokázána významným zvýšením koncentrace plazmatické glukózy po 30 minutách během OGTT ve dnech 5, 10 a 15 u HFD skupiny. Dřívější studie ukázaly, že 2 týdny HFD snižují absorpci glukózy stimulovanou inzulinem a expozice HFD po dobu 3 dnů vede k rezistenci jaterního inzulinu. Další dva týdny HFD zpomalily oxidaci glukózy stimulovanou inzulinem. HFD v této studii byla bohatá na polynenasycené mastné kyseliny a mohla mít vliv na zvýšenou regulaci inzulinu. Oproti tomu HFD zvýšila koncentrace glycerolu po 5 dnech. Po 10 a 15 dnech byly koncentrace glycerolu opět sníženy. Zvýšení koncentrace glycerolu v séru u HFD skupiny odpovídalo zvýšení rychlosti oxidace tuku (Goedecke et al., 1999).

Průměrná rychlost oxidace tuku byla u HFD skupiny v prvních 5 dnech zvýšena, u kontrolní skupiny byla nezměněna. Zvýšení rychlosti oxidace tuků u HFD skupiny vedlo k poklesu rychlosti oxidace CHO, což byla rychlost nižší než u kontrolní skupiny. Přes větší pokles oxidace CHO u HFD skupiny po 5 dnech došlo pouze k mírnému snížení oxidace plazmatické glukózy. To naznačuje, že HFD značně snižuje oxidaci svalového glykogenu. Aktivita karnitin acyl-transferázy byla u HFD skupiny zvýšena, ostatní hodnoty svalových enzymů zůstaly nezměněny (Goedecke et al., 1999).

### **5.1.3 „Vliv triglyceridů o střední délce řetězce přijímaných se sacharidy na metabolismus a vytrvalostní výkon“**

V následující studii byly měřeny účinky přijímání rozdílného množství MCT a CHO na energetický metabolismus, vytrvalostní výkon a gastrointestinální trakt. Studie byla provedena na devíti vytrvalostně trénovaných cyklistech. Test obnášel 120 minutovou zátěž při 63% VO<sub>2</sub> max s následnou 40 kilometrovou zátěží na čas. Na začátku zátěže bylo cyklistům podáno 400 ml 10% glukózového roztoku (GLU), 10% GLU + 1,72% MCT (LO-MCT) nebo 10% GLU + 3,4% MCT (HI-MCT) a dále po 100 ml v 10minutových intervalech. Vzorky krve byly odebrány v klidu a poté během zátěže ve 20minutových intervalech (Goedecke, Elmer, Dennis, Schloss, Noakes & Lambert, 1999).

Během LO-MCT a HI-MCT testů byly koncentrace volných mastných kyselin v séru zvýšeny, v testu GLU žádné změny zaznamenány nebyly. Změny v plazmatické koncentraci glycerolu nebyly zjištěny v žádném ze tří testů. Koncentrace  $\beta$ -hydroxybutyrátu v séru se zvyšovaly se zvyšujícím se příjmem MCT. Tyto zvýšené hodnoty však neměly vliv na energetický metabolismus ani 40kilometrový měřený úsek.

Koncentrace glukózy a laktátu v plazmě byly zjištěny v běžných hodnotách. Vysoký obsah sacharidů přijatých během oběda 2 hodiny před zátěží zvýšil počáteční hodnoty inzulínu v plazmě u GLU, LO-MCT i HI-MCT. Koncentrace inzulínu byly nižší u HI-MCT testu, tento rozdíl však po 120 minut trvající zátěži zmizel. Zvýšené počáteční hodnoty inzulínu v plazmě mohly zvýšit oxidaci sacharidů i přes zvýšené plazmatické koncentrace volných mastných kyselin způsobených požitím MCT (Goedecke et al., 1999).

V poměru celkové oxidace tuků a sacharidů nebyly během cvičení s konstantním zatížením zjištěny žádné rozdíly. Požití MCT neprokázalo vliv na zlepšení výkonu ve 40kilometrovém měřeném úseku. Nebyl zjištěn zvýšený výskyt gastrointestinálních symptomů. Nejčastějšími projevy byly žaludeční křeče, flatulence a nauzea u testu HI-MCT. Pouze jeden účastník během testu LO-MCT hlásil zvracení a pouze jeden účastník ze skupiny HI-MCT měl gastrointestinální potíže během 48 hodin po zátěži (Goedecke et al., 1999).

#### **5.1.4 „Vliv CHO nebo CHO v kombinaci s MCT na výkon cyklistů“**

Tato studie se zabývala účinky užití CHO nebo CHO + MCT na metabolismus a výkon cyklistů. Osm vytrvalostně trénovaných mužů dostávalo během zátěže 35 kJ/kg buď 6% CHO, 6% CHO + 4,2% MCT nebo placebo (P) nápoje v 15 minutových intervalech (Angus et al., 2000).

Čas pro vykonání nastavené zátěže byl snížen u testu CHO i CHO + MCT v porovnání s P. Koncentrace plazmatické glukózy byla udržována na hodnotách nebo nad hodnotami klidového vztahu v testech CHO a CHO + MCT, naopak v testu P po skončení zátěže klesla pod klidové hodnoty. Rychlost oxidace sacharidů se v prvních 90 minutách zátěže nelišila, po uplynutí 90 minut se však v testu P snížila, v testech CHO a CHO + MCT zůstala nezměněna. Respirační výměnný poměr (RER) poklesl ve všech studiích, bez ohledu na konzumovaný nápoj. Celková oxidace tuků byla během výkonu zvýšena ve všech studiích (Angus et al., 2000).

#### **5.1.5 „Příjem MCT před výkonem neovlivňuje využití svalového glykogenu během výkonu“**

Cílem této studie bylo zjistit, zda požití tolerovaného množství MCT šetří zásoby glykogenu během vysoce intenzivní zátěže. Sedm trénovaných cyklistů se podrobilo 30minutovému výkonu při 84%  $\text{VO}_2$  max. Cyklistům bylo hodinu před zátěží podáno buď 0,72g/kg CHO nebo 0,72g/kg + 0,36g/kg MCT. Změny koncentrací svalového glykogenu byly měřeny ze svalové biopsie odebrané 30 minut před zátěží a bezprostředně po zátěži. Oxidace glykogenu byla měřena i jako rozdíl mezi celkovou oxidací sacharidů a rychlostí

ztráty plazmatické glukózy. Vzorky krve byly odebírány v 10minutových intervalech v klidu a v 5minutových intervalech při zátěži (Horowitz et al., 2000).

Průměrný výkon byl při obou testech stejný, energetický výdej,  $\text{VO}_2$  max, RER i srdeční frekvence byly během obou studií srovnatelné. Koncentrace svalového glykogenu i vypočtená oxidace glykogenu byla před zátěží v obou případech testů CHO i CHO + MCT srovnatelná a snížení koncentrace glykogenu během výkonu nebylo pro test CHO a CHO + MCT rozdílné (Horowitz et al., 2000).

Podávání CHO + MCT zvýšilo úbytek glukózy z plazmy v klidu, během zátěže nebyl úbytek plazmatické glukózy od testu CHO odlišný. Na základě rychlosti úbytku plazmatické glukózy v testu CHO + MCT byla odpověď plazmatického inzulínu významně vyšší, než u testu CHO. Během cvičení se koncentrace inzulínu snížily na bazální hodnoty a nebyly zjištěny rozdíly mezi CHO a CHO + MCT (Horowitz et al., 2000).

Během cvičení se zvýšila koncentrace plazmatického glycerolu, zatímco koncentrace volných mastných kyselin v plazmě zůstala nízká. Koncentrace plazmatické  $\beta$ -hydroxybutyrátu 30 minut po požití CHO + MCT byla větší než u CHO a dále během celé zátěže zůstala více než dvojnásobně vyšší. Koncentrace laktátu v plazmě se díky zátěži o vysoké intenzitě zvýšila (Horowitz et al., 2000).

#### **5.1.6 „Malá množství plazmatických MCT a nezměněný výkon po konzumaci lipidů“**

Tato studie se zabývala výkonností po konzumaci strukturovaných triglyceridů, které se skládají ze směsi MCT a LCT tuků. Sedm vytrvalostně trénovaných cyklistů se podrobilo 180minutové zátěži při 55%  $\text{VO}_2$  max, po kterém následoval měřený úsek. Před zátěží bylo cyklistům podáno 400 ml CHO nebo CHO + specifické strukturované triglyceridy (MLM) a 200 ml stejných energetických nápojů během zátěže každých 15 minut. Během experimentu byly pravidelně získávány vzorky krve. Dále byly měřeny hodnoty různých cirkulujících mastných kyselin, což v podobných studiích nebylo provedeno (Vistinsen et al., 2003).

Výkon během zátěže byl podobný v testech CHO + MLM a CHO. Z celkového množství plazmatických mastných kyselin uvolněných z triglyceridů byl během 180minutové zátěže zjištěn pokles v testu CHO oproti testu CHO + MLM, kde byl naopak v některých úsecích zaznamenán vzestup těchto mastných kyselin. Koncentrace LCFAs v plazmě byly zvýšené po 180 minutách zátěže ve srovnání s klidovými hodnotami a hodnotami po 60 minutách zátěže. V testech CHO a CHO + MLM byly tyto hodnoty LCFAs během 180minutové zátěže srovnatelné. Fosfolipidové mastné kyseliny zůstaly nezměněny během 180minutové zátěže v testu CHO, zatímco bylo zjištěno vyšší množství plazmatických fosfolipidových mastných kyselin v testu CHO + MLM ve srovnání s testem CHO, což mohlo být způsobeno uvolňováním endogenních fosfolipidů do

chylomikronů. V testu CHO + MLM byly hodnoty plazmatické glukózy vyšší po 60 minutách zátěže ve srovnání s hodnotami ve 120. minutě. V testech CHO a CHO + MLM došlo k mírnému poklesu koncentrace plazmatického laktátu (Vistinsen et al., 2003).

Přestože bylo účastníkům podáno 30 g MCT tuků s obsahem převážně kaprylových mastných kyselin, tyto mastné kyseliny následně v plazmě nebyly detekovány. Nedošlo ani ke zvýšení výkonnosti ve spojení s těmito podanými MCT tuky (Vistinsen et al., 2003).

V časovém úseku, který následoval po 180 minutové zátěži, nebyly zjištěny rozdíly v hodnotách triglyceridových a fosfolipidových mastných kyselin. Hodnota plazmatických mastných kyselin byla však na konci tohoto úseku významně vyšší v testu CHO + MLM. Hodnoty krevní glukózy měly tendenci k nárůstu v testu CHO + MLM. Hodnoty koncentrace plazmatického laktátu nebyly v testech rozdílné. Chybějící zlepšení výkonu po příjmu CHO + MLM mohlo být způsobeno tím, že v systémové cirkulaci bylo k dispozici jen nepatrné množství kaprinových MCFAs (Vistinsen et al., 2003).

#### **5.1.7 „Účinky užívání triglyceridů o střední délce řetězce a sacharidů na ultra-vytrvalostní výkon“**

Osm vytrvalostně trénovaných cyklistů se zúčastnilo studie, jejíž cílem bylo zjistit, zda by požití MCT v kombinaci s CHO změnilo metabolismus substrátů a zlepšilo výkon ultra-vytrvalostních cyklistů. Během dvou různých příležitostí se cyklisté účastnili 270minutové zátěže při 50% W max se čtyřmi 75 kJ sprinty v 60minutových intervalech s následným 200 kJ měřeným časovým úsekem. Hodinu před zátěží cyklisté požili buď 75 g nebo 32 g MCT. Dále během zátěže dostávali 200ml 10% CHO roztoku, nebo 10% CHO + 4,3% MCT roztoku (Goedecke, Clark, Noakes & Lambert, 2005).

V porovnání testů CHO a CHO + MCT se RER neměnil, postupně klesal po celou dobu zátěže a na konci testu byly jeho hodnoty výrazně nižší než hodnoty počáteční. V souladu s tím byly míry oxidace CHO a tuků během konstantní zátěže mezi jednotlivými testy rozdílné. Oxidace tuků se zvýšila po 150 a 220 minutách v testu CHO + MCT. Rychlost oxidace CHO klesla po 220 minutách zátěže v obou testech. S prodlužující se dobou cvičení se snižovaly výkony v jednotlivých sprintech. Pokles výkonu ve sprintech byl však větší v testech CHO + MCT. Závěrečný úsek byl také významně pomalejší u účastníků testu CHO + MCT (Goedecke et al., 2005).

Polovina účastníků trpěla gastrointestinálními potížemi během nebo po ukončení testů charakteristickými pro požití MCT tuků. Jeden z těchto účastníků si stěžoval jen na mírné obtíže, zatímco u ostatních se projevíly závažnější příznaky včetně nauzey, zvracení, žaludečních křečí, flatulence a průjmů. V případě testu CHO nebyly hlášeny žádné gastrointestinální potíže (Goedecke et al., 2005).

### **5.1.8 „Vliv MCT na středně intenzivní a vysoce intenzivní výkon u rekreačních sportovců “**

V této studii byl zkoumán vliv dvoutýdenního dietního režimu obsahující malé množství MCT na výkon o střední a vysoké intenzitě u rekreačních sportovců. Experimentu se zúčastnilo 7 žen a 1 muž. Účastníci se podrobili 40 minutové zátěži při 60 %  $\text{VO}_2$  max. Po 40 minutách následoval úsek při 80 %  $\text{VO}_2$  max s pokračováním do úplného vyčerpání. Účastníci během 14 dní konzumovali jídla s obsahem 6g MCT nebo LCT. Před zátěží, během zátěže po 20, 35 a 45 minutách byly odebrány vzorky krve pro změření plazmatických koncentrací glukózy a laktátu (Nosaka et al., 2009).

Trvání zátěže do vyčerpání při 80 %  $\text{VO}_2$  max bylo významně delší při konzumaci diety s obsahem MCT než v testu LCT. Rychlost oxidace tuků se průběžně zvyšovala v testu MCT, ale ne výrazně oproti testu LCT. Rychlost oxidace sacharidů byla nižší v testu MCT, ale opět nebyla výrazně nižší než v testu LCT. Plazmatická koncentrace glukózy se v těchto testech výrazně nelišila. Příjem MCT tak mohl potlačit degradaci sacharidů a zvýšit využití mastných kyselin. Koncentrace laktátu v plazmě byla v testu MCT výrazně nižší než v testu LCT ve 20. minutě zátěže při 60 %  $\text{VO}_2$  max. Krátkodobý příjem MCT ve stravě v malém množství tak potlačuje zvýšení plazmatické koncentrace laktátu a míru vnímané námahy během středně intenzivního výkonu (Nosaka et al., 2009). (Nosaka et al., 2009).

### **5.1.9 „Medium-chain triglycerides jsou prospěšné pro podporu hubnutí, avšak nezvýhodňují výkon při zátěži “**

Stěžejní meta-analýzu zpracovala v roce 2010 Miriam E. Clegg, ve které se zabývala kromě některých dalších studií zkoumajících vliv MCT na vytrvalostní výkon také studiemi, které se zabývaly vlivem MCT tuků na ztrátu hmotnosti, což může být přínosem pro zdraví.

MCT tuky byly navrženy jako prostředek pro sportovce, který by jim umožnil maximalizovat vlastní zásoby glykogenu za účelem zlepšení vytrvalostního výkonu. Z tohoto důvodu byly provedeny první studie v této oblasti využití MCT tuků. Ty byly provedeny výzkumníky Ivy et al. (1980) a Decombraz et al. (1983). Již závěry těchto studií naznačovaly, že podávání MCT tuků má zřídka pozitivní vliv na výkon nebo na šetření svalového glykogenu. Pokud by MCT tuky měly výkonnost zlepšovat, musely by být podávány kombinaci s CHO. I za těchto okolností chyběly v literatuře důkazy o výhodách podávání MCT tuků (Ivy, Costill, Fink & Maglisho, 1980 cit. dle Clegg, 2010).

Ve většině provedených studiích nebyl účinek MCT tuků na výkon pozitivní. Dokonce i v případech, kdy byly zásoby glykogenu před výkonem vyčerpány, podávání

MCT tuků nemělo vliv na oxidaci tuků (Jeukendrup, Saris, Van Diesen, Brouns, Wagenmakers, 1996 cit. dle Clegg, 2010). Bylo také zjištěno, že až 73 % MCT tuků je oxidováno, pokud jsou tyto MCT tuky podávány v kombinaci s CHO, zatímco při podávání samotných MCT se oxiduje pouze 33 % MCT (Jeukendrup, Saris, Schrauwen, Brouns & Wagenmakers, 1995 cit. dle Clegg, 2010).

Pozitivní výsledky přinesla studie Van Zyl et al. (1996). Při podávání CHO, CHO + MCT nebo samotných MCT bylo zjištěno, že výkonnost v časovém úseku, který následoval po 120 minutové zátěži, byla nejlepší v testu CHO + MCT, následoval test CHO a nejhoršího výkonu bylo dosaženo v testu MCT. V testu CHO + MCT byla také snížena oxidace CHO. Předpokládalo se, že tyto výsledky mohly vést ke snížení oxidace svalového glykogenu, což ale dále zkoumáno nebylo (Van Zyl, Lambert, Hawley, Noakes & Dennis, 1996 cit. dle Clegg, 2010).

Již bylo zmíněno, že MCT tuky během svého metabolismu obcházejí periferní tkáň a nejsou tak ukládány jako zásobní tuk. Pro tyto výhodné vlastnosti byly MCT tuky zkoumány také v oblasti zdraví a mnoho studií se zabývalo jejich účinky na energetickou bilanci. Bylo prokázáno, že strava s obsahem MCT tuků má kladný vliv na snížení zásob podkožního tuku. V tomto ohledu by bylo přínosné provedení dalších studií pro jejich pozitivní účinky na zdraví (Clegg, 2010).

## 6. Diskuse

Využití MCT tuků ve vytrvalostním sportu bylo navrženo pro získání alternativního zdroje energie během výkonu a tím ušetření zásob svalového glykogenu, což by vedlo ke zlepšení atletického výkonu. Na základě již dávného zjištění, že MCT tuky jsou v trávicím traktu převedeny na MCFAs a transportovány přímo do portálního řečiště, na rozdíl od LCT tuků, které jsou v podobě chylomikronů vedeny lymfatickým systémem, bylo provedeno několik studií, které se zabývaly účinky užívání MCT tuků při vytrvalostní zátěži. Přestože jednotlivé studie byly prováděny za různých podmínek, jako je odlišné množství podávaných MCT tuků, jejich kombinace s CHO nebo jejich podávání v podobě strukturovaného tuku, je patrné, že podávání MCT tuků nemá pozitivní vliv na vytrvalostní výkon. Většina studií neprokázala žádný rozdíl ve využití substrátu během vytrvalostního výkonu ani ušetření svalového glykogenu.

Ve většině studií se u zúčastněných po podávání vysokých dávek MCT tuků projevíly gastrointestinální potíže, což mohlo mít za následek zhoršení výkonu. V některých studiích byly gastrointestinální příznaky zmírněny podáváním MCT tuků v kombinaci s CHO. Angus et al. (2000) zkoumali vliv CHO a CHO + MCT a ve srovnání s podáváním placebem zjistili, že oxidace CHO v testech CHO a CHO + MCT byla stejná, ale nižší než u placebo testu. Z toho vyplývá, že CHO sice zlepšuje výkon, ale přidání MCT tuků další přínos pro výkonnost nemělo. Horowitz et al. (2000) zjistili, že podávání CHO + MCT zvýšilo plazmatickou koncentraci glukózy v krvi před zátěží, během zátěže však byla koncentrace glukózy v plazmě srovnatelná s testem CHO. Podávání MCT tuků před výkonem tak nesnižuje rychlost oxidace svalového glykogenu při zátěži, ale zvyšuje hladinu glukózy v plazmě v klidovém stavu. Jeukendrup et al. (1996) došli k závěru, že podávání CHO + MCT žádným způsobem neovlivňuje využití CHO ani hodnoty svalového glykogenu.

Bylo provedeno málo studií, které se zabývaly chronickým užíváním MCT tuků, avšak provedené studie ukázaly kontroverzní výsledky. Goedecke et al. (1999) ve své studii zjistili, že dieta s vysokým obsahem tuků snižuje oxidaci svalového glykogenu. To však nevedlo ke zlepšení výkonu. Snížení oxidace svalového glykogenu tak mohlo být způsobeno změnami, ke kterým dochází při dietě s vysokým obsahem tuků, a podávání MCT tuků tak oxidaci svalového glykogenu neovlivňuje. Další studie provedená výzkumníky Nosaka et al. (2009) zjistila pozitivní efekt MCT tuků na trvání zátěže vysoké intenzity do vyčerpání při 14denním podávání malého množství MCT tuků ve stravě, kdy tato zátěž trvala déle než v testu s tuky LCT.

Pokud by tak užívání MCT tuků mělo mít vliv na zlepšení vytrvalostního výkonu, musely by být MCT tuky podávány v kombinaci s CHO nebo dlouhodobě. Přesto chybí dostatek důkazů o pozitivním vlivu MCT na výkon a výsledky jednotlivých studií jsou



sporné. Existuje silná tendence v literatuře, že suplementace MCT tuků není účinnou strategií ke zvýšení výkonu při vytrvalostním cvičení.

## 7. Závěr

Podávání MCT tuků za účelem zlepšení vytrvalostního výkonu bylo již mnohokrát zkoumáno, avšak nemělo ve většině provedených studií pozitivní efekt. V případě, že v uvedených studiích došlo ke zlepšení výkonu nebo byla prokázána zvýšená oxidace tuků a snížená oxidace svalového glykogenu, byly tyto změny připisovány jiným faktorům, nikoliv podávání MCT tuků. Studie, které pozitivní vliv MCT tuků na sportovní výkon prokázaly, používaly například vysoké dávky MCT nebo je podávaly intravenózně či dlouhodobě. Pro objektivnější důkazy o jejich pozitivním vlivu na výkon při chronickém podávání však nebylo provedeno mnoho studií. Užívání MCT tuků ve vysokých dávkách a u některých jedinců i v dávkách nižších vedlo k projevům gastrointestinálních potíží, jako je nauzea, zvracení, flatulence, křeče a průjemy, které však mohou být zmírněny podáváním MCT tuků v optimální dávce, v kombinaci s CHO nebo ve formě strukturovaného tuku. Nejnovější literatura naznačuje, že další zkoumání vlivu MCT tuků na sportovní vytrvalostní výkon se nezdá být dále přínosné, jelikož byl proveden dostatek studií, které pozitivní účinky MCT tuků ve vytrvalostním sportu neprokázaly. Další studie by se tak měly zaměřit na novější poznatky o pozitivním vlivu MCT tuků na energetickou bilanci, složení těla a tím jejich pozitivními účinky pro zdraví.

## Seznam zkratek

ATP	Adenosintrifosfát
CoA	Koenzym A
FAD	Flavinadenindinukleotid
FADH <sub>2</sub>	Flavinadenindinukleotid
GLU	Glucose
HFD	High Fat Diet
HCHO	High Carbohydrate
HI-MCT	High Medium-chain Triglycerides
CHO	Carbohydrate
LCFAs	Long-chain Fatty Acids
LCT	Long-chain Triglycerides
LO-MCT	Low Medium-chain Triglycerides
MCFAs	Medium-chain Fatty Acids
MCT	Medium-chain Triglycerides
MLM	Medium-, Long- and Medium-chain Fatty Acid
NAD	Nikotinamidadenindinukleotid
OGTT	Oral Glucose Tolerance Test
P	Placebo
RER	Respiratory Exchange Ratio

## Použitá literatura

1. Angus, D. J., Hargreaves, M., Dancey, J., & Febbraio, M. A. (2000). Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 113-119. DOI: 10.1152/jappl.2000.88.1.113
2. Babayan, V. K. (1985). Medium Chain Triglycerides and Structured Lipids. *Lipids*, 22(6), 417-420. DOI: 10.1007/BF02537271
3. Bach, A. C., & Babayan, V. K. (1982). Medium-chain triglycerides: an update. *The American Journal of Clinical Nutrition.*, 36(5), 950-962. DOI: 10.1093/ajcn/36.5.950
4. Banke, I. J., Prodinger, P. M., Waldt, S., Weirich, G., Holzaphfel, B. M., Gradinger, R. & Rechl, H. (2012). Irreversible Muscle Damage in Bodybuilding due to Long-Intramuscular Oil Injection. *International Journal of Sports Medicine*, 33(10), 829-834. DOI: 10.1055/s-0032-1311582
5. Brouns, F., & van der Vusse, G. J. (1998). Utilization of lipids during exercise in human subjects: metabolic and dietary constraints. *British Journal of nutrition*, 79(2), 117-128. DOI: 10.1079/BJN19980022
6. Clegg, M. E. (2010). Medium-chain triglycerides are advantageous in promoting weight loss although not beneficial to exercise performance. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(7), 653-679. DOI: 10.3109/09637481003702114
7. Coggan, A. R., Raguso, C. A., Gastaldelli, A., Sidossis, L. S., & Yeckel, C. W. (2000). Fat metabolism during high-intensity exercise in endurance-trained and untrained men. *Metabolism-Clinical and Experimental*, 49(1), 122-128. DOI: 10.1016/S0026-0495(00)90963-6
8. Driedger, A., Ingle, D. L., Traul, K. A., & Nakhasi, D.K. (1999). Dietary Energy Value of Medium-chain Triglycerides. *Journal Of Food Science*, 64(6), 960-963. DOI: 10.1111/j.1365- 2621.1999.tb12259.x.
9. Goedecke, J. H., Clark, V. R., Noakes, T. D., & Lambert, E. V. (2005). The effects of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion on ultra-endurance exercise performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 15(1), 15-27. DOI: 10.1123/ijsnem.15.1.15
10. Goedecke, J. H., Elmer, R., Dennis, S. C., Schloss, I., Noakes, T. D., & Lambert, E. V. (1999). Effects of medium-chain triacylglycerol ingested with carbohydrate on metabolism and exercise performance. *International journal of sport nutrition*, 9(1), 35-47. DOI: 10.1123/ijsn.9.1.35
11. Goedecke, J. H., Christie, C., Wilson, G., Dennis, S. C., Noakes, T. D., Hopkins, W. G., & Lambert, E. V. (1999). Metabolic adaptations to a high-fat diet in

- endurance cyclists. *Metabolism-Clinical and Experimental*, 48(12), 1509-1517. DOI: 10.1016/S0026-0495(99)90238-X
12. Gomes, R. V., & Aoki, M. S. (2003). Does medium chain triglycerides play an ergogenic role in endurance performance?. *Rev Brsa Med Esporte*, 9(3), 162-168. DOI: 10.1590/S1517-86922003000300005
  13. Hodgetts, V., Coppack, S. W., Frayn, K. N., & Hockaday, T. D. (1991). Factors controlling fat mobilization from human subcutaneous adipose tissue during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 71(2), 445-451. DOI: 10.1152/jappl.1991.71.2.445
  14. Holeček, M. (2006). *Regulace metabolismu cukrů, tuků, bílkovin a aminokyselin* (1. vyd.). Praha: Grada.
  15. Horowitz, J. F., & Klein, S. (2000). Lipid metabolism during endurance exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 558-563. DOI: 10.1093/ajcn/72.2.558S
  16. Horowitz, J. F., Mora-Rodriguez, R., Byerley, L. O., & Coyle, E. F. (2000). Preexercise medium-chain triglyceride ingestion does not alter muscle glycogen use during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 219-225. DOI: 10.1152/jappl.2000.88.1.219
  17. Jensen, R. G. (2002). The Composition of Bovine Milk Lipids: *Journal of Dairy Science*, 85(2), 295-350. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74079-4
  18. Jeukendrup, A. E., Saris, W. H., Brouns, F., Halliday, D., & Wagenmakers, A. J. (1996). Effects of carbohydrate (CHO) and fat supplementation on CHO metabolism during prolonged exercise. *Metabolism*, 45(7), 915-921. DOI: 10.1016/S0026-0495(96)90169-9
  19. Joyner, M. J., & Coyle, E. F. (2008). Endurance exercise performance. the physiology of champions. *The Journal of physiology*, 586(1), 35-44. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.143834
  20. Krčová, D. (2016). *MCT tuky a kokosový olej, pomocníci pro zdraví*. Dostupné z: <http://kulturstika.ronnie.cz/c-22402-mct-tuky-a-kokosovy-olej-pomocnici-pro-zdravi.html>
  21. Ledvina, M., Stoklasová, A., & Cerman, J. (2009). *Biochemie pro studující medicíny* (2. vyd.). Praha: Karolinum.
  22. Máček, M., & Radvanský, J. (2001). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity* (1. vyd.). Praha: Galén.
  23. Marten, B., Pfeuffer, M., & Schrezenmeir, J. (2006). Medium-chain triglycerides. *International Dairy Journal*, 16(25), 1374-1382. DOI: 10.1016/j.idairyj.2006.06.015.
  24. Murray, R. K., Bender, D. A., Botham, K. M., Kennelly, P. J., Rodwell, V. W., & Weil, P. A. (2012). *Harperova iulstovaná biochemie* (4. vyd.). Praha: Galén.
  25. Newhouse, J. (2011). *The diet tweak systém*. Dostupné z: <https://www.free-ebooks.net/search/diet+tweak+system>

26. Nosaka, N., Suzuki, Y., Nagatoishi, A., Kasai, M., Wu, J., & Taguchi, M. (2009). Effect of ingestion of medium-chain triacylglycerols on moderate-and high-intensity exercise in recreational athletes. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 55(2), 120-125. DOI: 10.3177/jnsv.55.120
27. Papamandjaris, A. A., MacDougall, D. E., & Jones, P. J. (1998). Medium Chain Fatty Acid Metabolism and Energy Expenditure. Obesity Treatment Implications: *Life Sciences*, 62(14), 1203-1215. DOI: 10.1016/S0024-3205(97)01143-0
28. Satabin, P., Portero, P., Defer, G., Bricout, J., & Guezennec, C. Y. (1987). Metabolic and hormonal responses to lipid and carbohydrate diets during exercise in man. *Medicine and science in sports and exercise*, 19(3), 218-223. Dostupné z: <http://europepmc.org/abstract/med/3298929>
29. Talbott, S. M. (2003). *A Guide to Understanding Dietary Supplements*. Dostupné z: <http://ebookrich.com/book.php?id=1214342&geo=zonfr#>
30. Vistisen, B., Nybo, L., Xu, X., Høy, C. E., & Kiens, B. (2003). Minor amounts of plasma medium-chain fatty acids and no improved time trial performance after consuming lipids. *Journal of Applied Physiology*, 95(6), 2434-2443. DOI: 10.1152/japplphysiol.00118.2003
31. Vukovich, M. D., Costill, D. L., Hickey, M. S., Trappe, S. W., Cole, K. J., & Fink, W. J. (1993). Effect of fat emulsion infusion and fat feeding on muscle glycogen utilization during cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75(4), 1513-1518. DOI: 10.1152/jappl.1993.75.4.1513
32. Zadák, Z. (2009). *Výživa v intenzivní péči* (2. rozš. a aktualiz. vyd.). Praha: Grada.

## Seznam obrázků

*Obrázek 1 Mechanismus působení MCT ve srovnání s LCT*

**Kateřinská 32, Praha 2**

Jsem si vědom/a, že závěrečná práce je autorským dílem a že informace získané nahlédnutím do zpřístupněné závěrečné práce nemohou být použity k výdělečným účelům, ani nemohou být vydávány za studijní, vědeckou nebo jinou tvůrčí činnost jiné osoby než autora.

Byl/a jsem seznámen/a se skutečností, že si mohu pořizovat výpisy, opisy nebo kopie závěrečné práce, jsem však povinen/a s nimi nakládat jako s autorským dílem a zachovávat pravidla uvedená v předchozím odstavci.

[illegible]